

RESUMEN DEL PROYECTO FIN DE CARRERA

***SISTEMAS MIMO COMO UNA ALTERNATIVA
PARA LAS FUTURAS COMUNICACIONES
INALÁMBRICAS***

AUTOR: SANDRA ÁLVAREZ TERUELO

TUTOR UC3M: MATILDE SÁNCHEZ

5 MAYO 2009

UNIVERSIDAD DE READING (U.K.)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
BLOQUE I: LA TECNOLOGIA MIMO	4
<i>Primera Aproximación a los Sistemas MIMO.....</i>	<i>4</i>
<i>Comunicación Cooperativa</i>	<i>6</i>
BLOQUE II: COMUNICACIONES MOVILES	7
<i>Que implica 4G.....</i>	<i>7</i>
<i>Principales tecnologías</i>	<i>8</i>
<i>WiMax</i>	<i>9</i>
BLOQUE III: RED DE SENSORES INALÁMBRICA.....	10
<i>Qué es una red de sensores</i>	<i>10</i>
<i>Mejoras introducidas por MIMO</i>	<i>11</i>
<i>Redes de sensores inalámbricas submarinas.....</i>	<i>11</i>
CONCLUSIONES.....	12

INTRODUCCIÓN

Este proyecto fin de carrera presenta un resumen de la nueva tecnología conocida como MIMO, acrónimo construido con los términos ingleses *múltiples entradas múltiples salidas* en sistemas inalámbricos.

En el primer bloque, hay una breve **introducción a la tecnología MIMO** incluyendo la historia de la misma y sus principales conceptos, como la multiplexación o la diversidad espacial que implican un incremento en la cobertura y la capacidad del enlace, lo que genera una mejor calidad de transmisión en las comunicaciones inalámbricas. Quedará de manifiesto el enorme potencial de los enlaces inalámbricos MIMO, además de cubrirse los avances en comunicación cooperativa dada su proximidad con las aplicaciones MIMO.

El objetivo de este trabajo no es sólo enumerar todos los aspectos físicos y técnicos que posee esta tecnología, sino también los avances en el ámbito práctico que MIMO supone. Por tanto, los dos siguientes bloques están enfocados en las áreas de aplicación más importantes hoy en día:

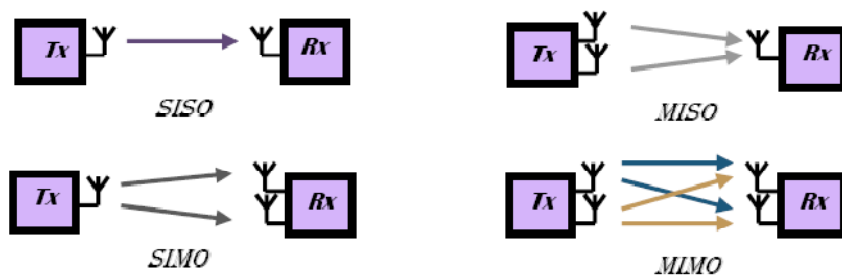
- Las **comunicaciones con teléfonos móviles**, en el segundo bloque, presenta los detalles más técnicos sobre la alternativa tecnológica que supone la cuarta generación (4G), principalmente WiMax, explicando como la multiplexación espacial y la diversidad están relacionadas con ella.

- En el tercer bloque se introducen las **redes de sensores inalámbricos**, demostrando que la tecnología MIMO, basada en la comunicación cooperativa, puede ayudar a estas redes en el futuro en términos de ahorro de energía. Además se argumenta el desarrollo de estas técnicas en las redes acústicas submarinas como un caso particular de aplicación.

La principal idea que se encuentra detrás de esta disertación es la presentación de la tecnología MIMO como una alternativa real en relación con las futuras comunicaciones inalámbricas. Esto significa que hoy en día los operadores de teléfonos móviles o los fabricantes de sensores industriales están observando con el mayor interés los últimos experimentos de laboratorio llevados a cabo con el propósito de mejorar la velocidad de transmisión de datos, el consumo de energía, la disponibilidad de mayor ancho de banda para las aplicaciones multimedia o las aplicaciones dedicadas a los casos de redes de sensores.

BLOQUE I: LA TECNOLOGÍA MIMO

Los sistemas MIMO pueden ser definidos fácilmente: un sistema de comunicaciones cualquiera donde el terminal de transmisión y el terminal de recepción están equipados con múltiples antenas. La idea que soporta MIMO podría resumirse como las señales de las antenas de un transmisor (TX) en un terminal y las de un receptor (RX) en el otro terminal, combinadas de tal manera que la calidad (BER) o el ratio de transmisión de datos de la comunicación por cada usuario MIMO se vea notablemente mejorada.



El propósito de este proyecto en el primer bloque es presentar el potencial de la tecnología MIMO, haciendo hincapié en los aspectos más relevantes como la diversidad espacial o la ganancia de array.

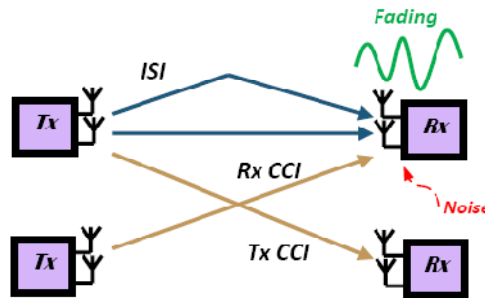
A) PRIMERA APROXIMACIÓN A LOS SISTEMAS MIMO

La comunicación digital utilizando MIMO ha emergido recientemente como una de las más significativas innovaciones tecnológicas en las comunicaciones inalámbricas. Esta tecnología figura en la lista de los más recientes avances técnicos que tienen la posibilidad de resolver el cuello de botella existente en la capacidad del tráfico de señales en las futuras redes inalámbricas que utilizarán de manera intensiva Internet.

Para entender la importancia de MIMO, necesitamos conocer las limitaciones de los canales inalámbricos:

- **Desvanecimientos**: Múltiples caminos con diferentes fases se suman en el receptor, dando lugar a una señal de amplitud aleatoria (Rayleigh/Ricean).
- **Interferencia InterSimbolica (ISI)**: Múltiples caminos con diferentes retardos provocan interferencia entre símbolos en el receptor.

- *Interferencia Co-Canal (CCI)*: Usuarios de celdas adyacentes crean interferencias sobre la señal del receptor final.
- *Ruido*: Los circuitos electrónicos sufren de ruido térmico, limitando la SNR del sistema.



Considerando las limitaciones expuestas arriba, los beneficios que aporta MIMO pueden resumirse en:

- Capacidad (bits/s/Hz) (el espectro es caro y el numero de estaciones base es limitado).
- Mejor calidad de transmisión (BER).
- Incremento de la cobertura.
- Mejora en la estimación de la posición del usuario.

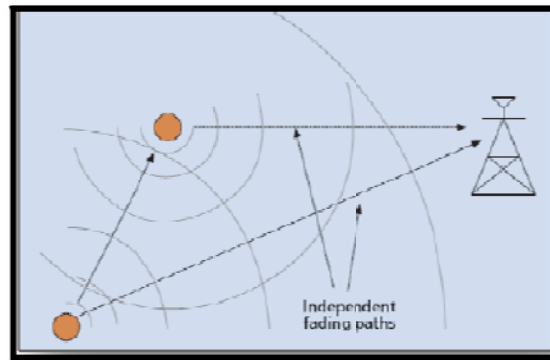
Debido a:

- La ganancia por multiplexación espacial que implica un incremento en la capacidad sin consumir un mayor ancho de banda, a través del uso de múltiples antenas a ambos lados de los enlaces inalámbricos.
- La ganancia por diversidad que mejora la fiabilidad del enlace obtenida a través de la transmisión de los mismos datos sobre trayectos independientes.
- La ganancia de array por el incremento de la cobertura y QoS.
- La reducción de interferencia por el incremento de la capacidad celular.

B) COMUNICACIÓN COOPERATIVA

La transmisión de diversidad, tal como se ha señalado anteriormente, requiere más de una antena en el transmisor. No obstante numerosos aparatos inalámbricos pueden no ser capaces de soportar más de una antena debido a su tamaño, coste o complejidad de su hardware. Por ejemplo muchos teléfonos móviles o nodos en redes de sensores inalámbricos (por tamaño y potencia) tienen estas limitaciones.

En tiempos recientes ha emergido una nueva clase de tecnología conocida como comunicación cooperativa que se ha propuesto hacer posible que móviles con una sola antena en un entorno multiusuario puedan compartir sus antenas y generar un transmisor virtual multiantenna permitiendo la transmisión de la diversidad.



Desafortunadamente, los canales de los móviles inalámbricos sufren desvanecimientos, lo que significa que la atenuación de la señal puede variar significativamente a lo largo del recorrido de una comunicación dada.

Al transmitir copias independientes de la señal se genera diversidad y se puede combatir eficazmente los efectos producidos por el desvanecimiento de la señal. En particular la diversidad espacial se genera mediante la transmisión de señales desde diferentes localizaciones dando lugar a versiones independientes afectadas los desvanecimientos de la señal en el receptor. La comunicación cooperativa convierte esta diversidad en una forma nueva e interesante.

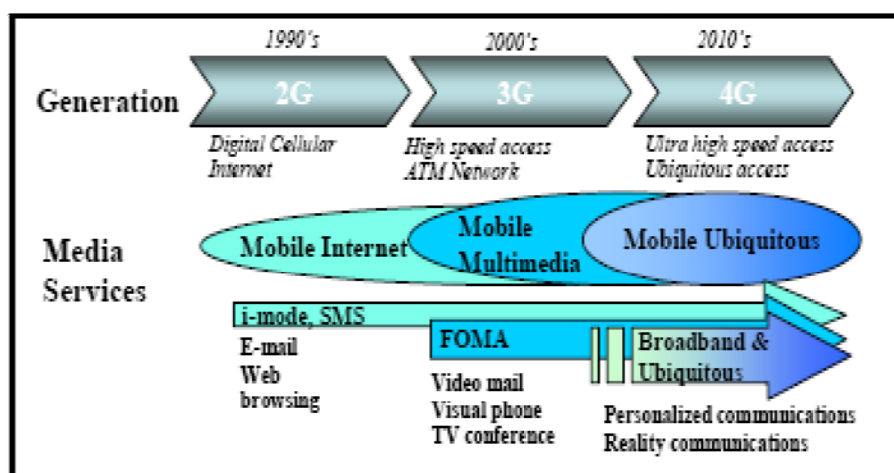
BLOQUE II: COMUNICACIONES MOVILES

En la segunda sección de este trabajo, va a ser analizada la carrera hacia la cuarta generación 4G de móviles, enfocada hacia la tecnología WiMax basada en técnicas MIMO. Se estudian aspectos como la diversidad, la cancelación de interferencia y la multiplexación espacial en sistemas WiMax para móviles. La comunidad WiMax hace énfasis en las palabras “todo momento, todo lugar” y su objetivo principal es entregar un acceso a internet de alta velocidad (incluyendo VoIP, señal de video, videoconferencia, juegos online,...etc.)

WiMax significa costes más bajos, más amplia cobertura y mayor capacidad. Los móviles WiMax combinan OFDMA y esquemas avanzados MIMO con un ancho de banda flexible y rápida adaptación de enlace, creando una interfaz aérea altamente eficiente que excede la capacidad de los sistemas 3G tanto de los existentes como de los que están evolucionando a partir de redes de acceso por radio.

A) QUE IMPLICA 4G

El acrónimo 4G (también conocido como “más allá de 3G”), significa Cuarta Generación, un término utilizado para describir la siguiente evolución total en las comunicaciones inalámbricas. Un sistema 4G reemplazara totalmente las actuales redes y será capaz de proveer una solución IP segura donde voz, datos y contenidos multimedia podrán ser obtenidos por los usuarios sobre una base, “cualquier momento, cualquier lugar” y a una velocidad mucho mayor que las generaciones anteriores. En la figura a continuación, podemos contemplar la evolución de los servicios a través de las últimas generaciones para tener una idea del contenido de este comentario.



El grupo de trabajo 4G ha definido así los principales objetivos del estándar 4G de comunicaciones inalámbricas:

1. Un sistema espectralmente eficiente (medido en bits/hercios y bit/hercios/situación)
2. Una alta capacidad de red: con más usuarios concurrentes por celda.
3. Una velocidad de 100 Mbps cuando el cliente físicamente se mueve a gran velocidad de forma relativa a la estación; y, de 1 Gbps, cuando el cliente y la estación permanecen en las mismas posiciones relativas.
4. Una velocidad de al menos 100 Mbps entre dos puntos cualquier en cualquier punto del mundo.
5. Una conectividad ininterrumpida con cambios de operador a lo largo de múltiples redes.
6. Alta calidad de servicio para el apoyo de la siguiente generación multimedia (sonido en tiempo real, alta velocidad de datos, contenidos de video HDTV, televisión móvil,..etc)
7. Una red IP con todos los paquetes conectados a la misma.

En resumen, el sistema 4G compartiría dinámicamente el uso de los recursos de la redes para cumplir el mínimo de requerimientos para que todos los usuarios alcanzaran el nivel fijado.

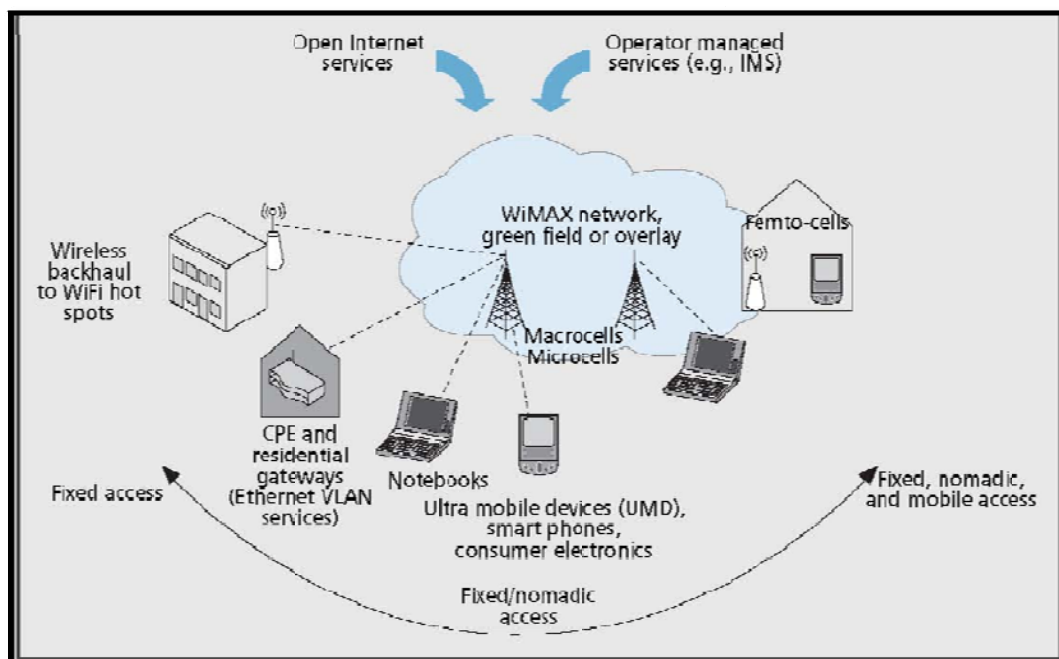
B) PRINCIPALES TECNOLOGIAS

- Técnicas basada en el ancho de banda
 - **OFDM**: para desarrollar la propiedad de frecuencia selectiva del canal.
 - **MIMO** : para alcanzar una eficacia espectral extrema.
- Modulación, procesamiento especial incluyendo múltiples antenas y múltiples usuarios: **MIMO**
- **Protocolo multimodal** que descansa tanto en redes fijas (FRN) como en conceptos cooperativos.

c) WiMAX

Wimax son las siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas). Es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio.

Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla, también conocidas como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El protocolo que caracteriza esta tecnología es el IEEE 802.16. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costos por usuario muy elevados (zonas rurales).



Entre sus características están:

- Distancias de hasta 50 kilómetros, con antenas muy direccionales y de alta ganancia.
- Velocidades de hasta 70 Mbps, 35+35 Mbps, siempre que el espectro esté completamente limpio.
- Facilidades para añadir más canales, dependiendo de la regulación de cada país.
- Anchos de banda configurables y no cerrados, sujeto a la relación de espectro.
- Permite dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras.

BLOQUE III: RED DE SENSORES INALÁMBRICA

Por último, en el tercer bloque, las redes de sensores inalámbricas representan una nueva generación dentro de los sistemas en tiempo real. Después de hablar sobre lo que significan las redes de sensores incluidas sus más importantes características, se discutirán los beneficios obtenidos del hardware en términos de eficiencia de energía y en la implementación de esta tipo de redes basadas en MIMO.

Para terminar esta investigación se presenta un caso particular de una red submarina de sensores implementada con sensores acústicos instalados a una profundidad somera. En esta red la aplicación de MIMO puede ofrecer una gran mejora en términos de capacidad. Se estudia una arquitectura cooperativa MIMO de dos saltos aplicada a una red acústica submarina bajo aguas someras. Previamente se dedica una sección a las redes submarinas considerando que son un área no muy conocida dentro de la comunicación cooperativa gracias a MIMO.

A) QUÉ ES UNA RED DE SENSORES

Una red de sensores está compuesta de un gran número de nodos sensores, que están densamente desplegados dentro de un fenómeno o muy próximos a él. Consiste en componentes de detección, comunicación y proceso de datos basados en la idea de esfuerzo colaborativo de un gran número de nodos. Así las redes de sensores representan una mejora significativa sobre la tradicional de sensores autónomos, los nodos sensores trabajan junto entre ellos para establecer la red.

Una red de sensores puede proporcionar acceso a información en **cualquier momento y cualquier lugar** recogiendo, procesando, analizando y entregando datos, así una red participa activamente en la creación de un entorno inteligente.

La **localización** de los nodos sensores no tiene por qué estar predeterminada. Esto permite un despliegue aleatorio en terrenos inaccesibles o en operaciones de ayuda en caso de desastre. Por otro lado esto significa que la red de sensores tiene capacidades de auto organización.

Una de las restricciones más importantes de los nodos sensores es los requerimientos de **bajo consumo de energía**. Los nodos sensores llevan habitualmente una fuente de

energía irremplazable, así los protocolos tienen como objetivo prioritario la conservación de la energía.

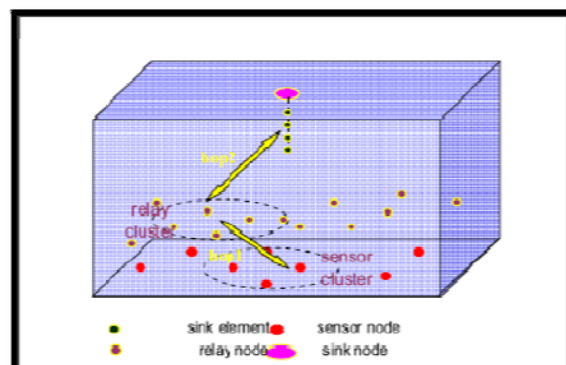
Otra característica de la red de sensores es el **esfuerzo cooperativo** de los nodos sensores. Los nodos sensores se dotan de un procesador propio, en lugar de remitir datos elementales a los nodos responsables de la fusión. Estos nodos sensores usan sus habilidades de procesamiento para llevar a cabo localmente tareas de computación simples y transmitir únicamente los datos requeridos y parcialmente procesados.

B) MEJORAS INTRODUCIDAS POR MIMO

En las redes de sensores, debido a la limitación física de tamaño, cada nodo puede llevar solo una antena, así la aplicación del concepto de técnicas multiantena a las redes de sensores no es muy práctico. Sin embargo la aplicación de técnicas MIMO virtuales o cooperativas se está tomando muy en consideración. Simulando un sistema MIMO virtual, los beneficios del MIMO pueden ser utilizados en las redes de sensores aunque cada uno este dotado de una sola antena.

C) REDES DE SENSORES INALAMBRICAS SUBMARINAS

En las redes de sensores acústicos submarinos los anchos de bandas están severamente limitados, junto con el consumo de energía, la velocidad de transmisión de la información también debe ser considerada, especialmente en las aplicaciones de vigilancia en tiempo real. En este trabajo se profundiza en la aplicación de este particular caso de redes submarinas.



CONCLUSIONES

En esta disertación se ha presentado un resumen práctico de cómo una nueva tecnología denominada MIMO (Múltiples entrada, múltiples salidas) ha emergido recientemente como la innovación tecnológica más significativa de las comunicaciones inalámbricas modernas.

La principal contribución de este trabajo no es simplemente enumerar todos los aspectos técnicos de las mejoras que proporciona la tecnología MIMO, sino ofrecer un análisis práctico del enorme potencial que tiene esta tecnología, presentando sus principales aplicaciones de cara al futuro, resaltando la amplia cobertura que las redes de sensores inalámbricos en general y en la acústica submarina en particular. La razón reside en que las especificaciones de MIMO WiMax son bien conocidas pero no los beneficios de MIMO en otras áreas, como sensores que se están desarrollando ahora de una forma muy interesante.

A continuación, se detallan las características más importantes que es preciso tener en cuenta respecto a las técnicas MIMO:

- ✓ MIMO realmente es capaz de sacar provecho de los desvanecimientos que sufre la señal transmitida y de la propagación con retardos multicanal para multiplicar las tasas de transferencia.
- ✓ Los canales MIMO ofrecen un incremento de capacidad mínimo lineal (M_T, M_R) sin necesidad de añadir potencia adicional o mayor ancho de banda (ganancia multiplexada espacial)
- ✓ Si unas antenas son utilizadas para multiplexar no pueden ser utilizadas para diversidad, así es fundamental el equilibrio respecto a cómo pueden ser utilizadas las diversas antenas.

Un concepto relevante desarrollado en esta investigación es el de la comunicación cooperativa. Se explica un resumen de estos métodos, donde la idea es permitir que móviles con una sola antena puedan cosechar los beneficios de los sistemas MIMO, basándose en que los móviles de una sola antena en un escenario multiusuario pueden compartir sus antenas con el objetivo de crear un sistema MIMO virtual.

Esta parcela va a ser un punto de referencia para las futuras comunicaciones inalámbricas debido a que la cooperación conduce a equilibrios interesantes en rendimiento de código y en potencia de transmisión.

MIMO podría ser implementado en un amplio campo de aplicaciones como redes malla inalámbricas que ofrecen alta capacidad de enlaces cruzados y acceso WiFi o que permiten una cobertura completa en un hogar con la velocidad y seguridad de una aplicación multimedia. En este caso, el trabajo se enfoca en las especificaciones WiMax. WiMax supone un coste más bajo, una cobertura más amplia, una capacidad más elevada y un ancho de banda entre 1-5Mbps. OFDMA ha sido seleccionado por el Forum WiMax como la tecnología fundamental para servicios móviles portátiles.

Respecto a las redes de sensores, debido a su limitado tamaño físico, cada nodo puede llevar únicamente una antena, así las aplicaciones directas de las técnicas multiantena a las redes de sensores son impracticables. No obstante, la aplicación de técnicas cooperativas de MIMO virtual está siendo tomada en consideración. De forma que, simulando un sistema virtual MIMO, los beneficios de MIMO pueden ser utilizados en redes de sensores compuestas de nodos de una sola antena.

Una de las restricciones más importantes de las redes de sensores son los requerimientos de baja potencia. Los nodos llevan generalmente una fuente de potencia irremplazable y los protocolos están enfocados principalmente hacia la conservación de la energía. Así en el área de redes de sensores inalámbricos uno de los principales objetivos es mejorar la eficiencia energética.

Por último, las redes de sensores inalámbricas acústicas submarinas requieren una nueva arquitectura y el diseño de un protocolo exclusivo para las propiedades de su canal exclusivo que incluye un ancho de banda severamente limitado, retraso en la propagación de la señal, una gran riqueza de trayectorias dependientes del entorno, y unos nodos con una potencia limitada e irrecargable. Ha existido un progreso significativo en ACOMM en los años recientes, en particular en el frente de la modulación multiportadora y técnicas MIMO.

Para señalar como puede ser extendido y continuado este trabajo, una posible vía sería desarrollar los métodos cooperativos que realmente ahorran energía en los entornos acuáticos submarinos, teniendo en cuenta que ha habido un interés creciente en observar el entorno marino para la exploración científica, la explotación comercial y la protección de las líneas de costa, donde el vehículo ideal para este tipo de observación es una red inalámbrica de sensores. La eficiencia energética es un gran campo de trabajo que podría no haber cubierto suficientemente esta investigación.